

황산암모늄 주입에 따른 전기집진기(ESP)에서의 미세분진 제거

서 정 민
남해전문대학 환경관리과
(1997년 9월 24일 접수)

A Study on Fine Particle Removal of ESP according to $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ Injection Rate

Jeong-Min Suh
Dept. of Environmental Management, Kyungnam Provincial Namhae College, Kyungnam 668-800
(Manuscript received 24 September 1997)

This study has been carried out to investigate Electrostatic Precipitator's(ESP) performance enhancement and removal efficiency of fine particle according to $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ injection rate.

The following conclusions are derived from the these test results :

1)For plant condition cases, according to the variation of concentration agent $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ - 10ppm, 20ppm, 30ppm, 40ppm - ESP's collection efficiency was increased to 97.74%, 98.95%, 99.04%, 99.47%, when inlet dust loading was $2\text{g}/\text{m}^3$. And when inlet dust loading was $3\text{g}/\text{m}^3$, that was increased to 98.19%, 99.16%, 99.23%, 99.58%.

2)It is seen from this experiments that the increasing 30ppm concentration of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ increase the collection efficiency and fine particle emission control.

Key words : Electrostatic Precipitator(ESP), Sinter Dust, conditioning agent, collection efficiency, dust loading

1. 서 론

산업의 급진적인 발전과 더불어 철강의 용도는 매우 다양하고 중요시 되어왔다. 철강은 재료분야 중에서 그 생산량이 가장 많고 각종 기계, 선박, 자동차, 기타 공업 등에 널리 사용되고 있는 재료이다. 제철설비 중 소결공정은 원료인 철광석의 생산성을 높이고, 강도가 높고 분열이 낮은 소결광을 제조하기 위한 목적으로 철광석(원료)과 석회석, 규산, 분Coke, 고로반광 등의 각종 원료를 일정비율로 저장, 배합하여 소결기에 장입하고 점화로에서 연료중의 Coke를 연소하여 소결을 진행시켜 배광한 후, 이 소결광을 다시 냉각, 파쇄, 체질하여 고로에 적합한 소결광으로 만드는 과정을 일컫는다. 소결분진(Sinter dust)은 분진의 화학성분을 분석해 보면 K, Na, CaO성분이 많이 함유되어 있기 때문에 $2 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 이상의 고전기저항성 입자로 알려져 있다(S. Yamamoto, 1993). 일반적으로 전기집진기의 성능은 입자의 전기저항성과 관련되어 있으며 집진효율에 영향을 준다(Harry.J.White, 1956). 소결기는 배가스를 150°C 부근에서 운전하기 때문에 Sparking과 역전리(Back corona)가 발생되어 전기집진기 운전성능에 나쁜 영향을 주고 있다. 이와 같은 고저항분진의 전기저항성 조정운전을 위한 일반적인 대처방안으로는 펄스하전

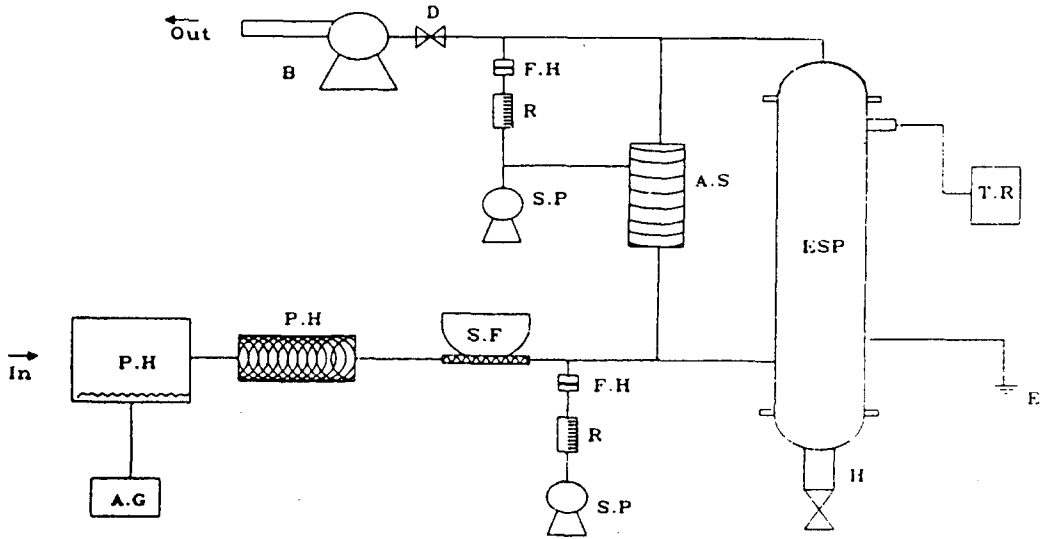
방식(Pulse energization system)과 배가스 조절장치(Flue gas conditioning system)등이 있다. 배가스조절 장치는 설치가 간단하고 기존의 전기집진기에 적용이 용이하며 안전성이 보장된다. 배가스조절장치는 전기집진기내의 전기적조건 또는 고저항분진의 특성을 변화시키기 위해서 화학물질을 첨가하여 집진기의 포집효율과 성능을 향상시키는 것으로서 가장 적은 비용이 소모되는 효과적인 방법이다(Leslie.E.Spark, et al, 1985). 첨가제의 종류로는 SO_3 , H_2SO_4 , NH_3 , Ammonium compound, Organic amines, Allcali compounds, 철, 바나듐 화합물 등이 있으며 이들은 전계강도, 집진극의 이온밀도, 분진의 부착과 이온특성, 입경분포 등에 영향을 준다(류재용과 최금찬, 1995).

본 연구의 목적은 소결분진 함유배가스에 다양한 화학첨가제 중 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 를 주입하여 소결분진(Sinter dust)의 입자특성을 집진에 용이한 전기적, 물리적 성질로 전환시켜 입자의 전기저항과 배출분진의 농도를 감소시켜 전기집진기의 효율을 개선시키는데 있다.

2. 실험

2.1 실험장치의 구성

본 연구에 사용된 실험장치는 일정량의 분진이 주입



B: Blower S.P: Suction Pump S.F: Screw Feeder T.R: Transformer Rectifier E: Earth
 A.G: Aerosol Generator ESP: Electrostatic Precipitator P.H: Preheater D: Damper H: Hopper
 A.S: Andersen Sampler F.H: Filter Holder R: Rotameter

Fig. 1. Experimental apparatus for conditioning agent injection.

Table 1. Experiment Condition

SCA (specific collecting area)	0.46 m ² /m ³ /min
Velocity	1.8 m/sec
Decomposing Time	2 sec
Injection Concentration	10 ~ 40 ppm
Dust Loading	2g ~ 3g
Applied Voltage	10 ~ 14 kV
Decomposing Temperature	500 °C
ESP Temperature	150 °C
(NH ₄) ₂ SO ₄ Concentration	30% Water Solution

될 수 있는 Screw feeding식 분진주입장치, 원통형 전기집진기, 고전압 발생장치, 온도조절장치, (NH₄)₂SO₄ aerosol 발생장치, 흡입식 송풍기, 첨가제 주입장치로 구성되었고, 실험장치에 대한 개략적인 그림을 Fig. 1에 나타내었다.

분진주입부는 일정량의 분진주입을 위해 Screw feeding 방식으로 DC Motor (0-24V)를 이용하여 전압을 가변시키면서 분진을 정량 주입하였으며(천중국과 최금찬, 1994) 분진의 공급은 실험조건에 따라 2g/min, 3g/min씩 각각 주입하였다. 입경별 제거효율을 측정하기 위해서 전체 8단 (0-7단)으로 구성된 (최대 13.6µm 이상-0단, 최소 0.54µm 이하-7단 까지 측정가능) Andersen sampler(Model No. 3371, Stack用, 미국)를 사용하였다.

2.2 실험방법 및 조건

본 실험은 전류밀도의 변화에 따른 포집효율을 측정하였으며, 특히 일반적으로 입자들이 가장 높은 저항을 나타내는 150°C의 온도에서 (NH₄)₂SO₄를 주입하였을 때와 주입하지 않았을 때의 집진기의 성능개선 문제와

미세입자의 제거에 역점을 두었으며, 집진기의 성능이 양호할 때와 집진기의 성능을 현장조건에 맞추어 (NH₄)₂SO₄를 10, 20, 30, 40ppm으로 농도별로 주입하여 전류밀도의 변화, 집진기의 성능변화, 미세입자의 제거효율을 비교 관찰하였다.

본 실험 동안의 실험조건은 Table 1과 같다.

2.3 측 정

포집효율의 측정은 전류밀도의 변화, (NH₄)₂SO₄를 주입하였을 때와 주입하지 않았을 때 측정하였다. 미세입자의 제거효율을 중점적으로 비교 검토하였다.

① 유속 측정

유량을 결정하기 위한 유속의 측정은 경사마노메타 (Inclined manometer, Dwyer No. 400)을 사용하여 측정하였다.

② 입구 분진농도 측정

분진의 농도 측정은 Screw feeding방식에 의해서 주입되는 분진을 5회씩 측정하여 평균값을 취하였다.

③ 포집효율 측정

포집효율의 측정은 한국공업규격(KS) 중 배가스의 분

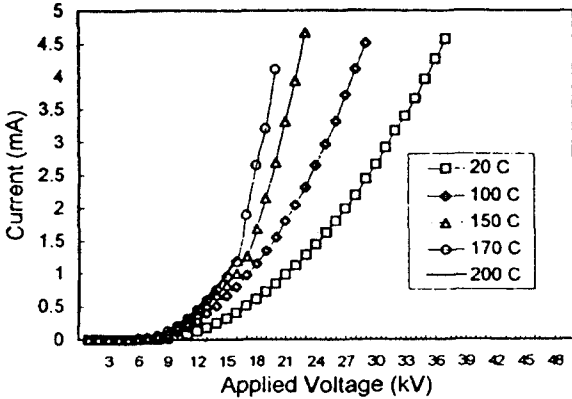


Fig. 2. Current change as a function of Applied negative voltage.

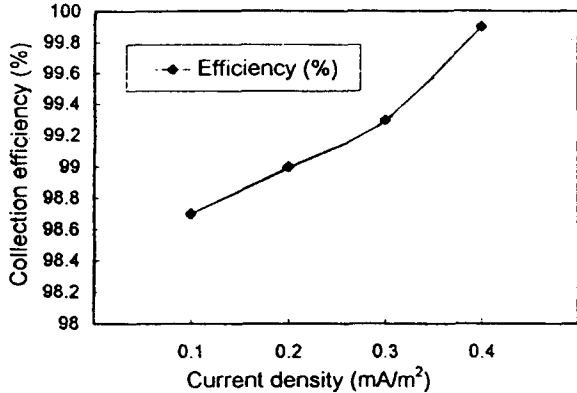


Fig. 3. Collection efficiency vs. Current density.

진농도의 측정방법(KS M 2105)과 집진장치의 성능 측정 방법(KS B 6101)에 따랐으며, 여과지는 32mm Glass Fiber를 사용하였다. 이때 여과지는 포집전에 포집 입, 출구의 온도에서 1시간 동안 건조시킨후 데시케이터에 1시간 방냉시킨후에 등속흡입하여 포집하였으며, 포집후에 다시 데시케이터에서 1시간 동안 방냉하였다.

④ 입도분포 측정

Stack용 Andersen Sampler(No. 3371, 미국)를 이용하여 측정하였으며 SEM 사진으로 미세입자의 제거 효율과 입자의 입도분포를 재확인 했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고전압발생장치 (T-R Set)의 전압·전류 특성

제철소 소결공정은 4주(28일)마다 정비보수를 위해 공장을 정지 시키며 정지 및 가동시 운전온도인 20℃~200℃에서 실험하였다. Fig. 2는 온도범위를 20℃~200℃로 증가시켰을 때 본 실험장치에 사용된 고전압발생장치의 전류·전압 특성을 나타낸 것이다. 인가전압을 1kV에서 39kV까지 1kV 간격으로 상승시켰을 때, 7kV까지는 각각의 온도에서 전류값은 0.01mA로 거의 변화가 없었으며, 인가전압과 온도가 증가할수록 전류값이 높게 나타났다. 본 실험에서 주로 적용한 12kV에

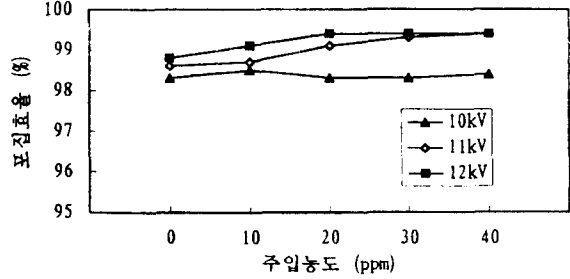


Fig. 4. Comparison of collection efficiency vs. Applied voltage with additive concentrations.

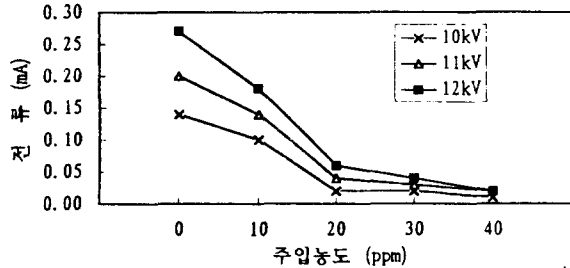


Fig. 5. Comparison of current change vs. Applied voltage with additive concentrations.

서 각각의 온도 20℃, 100℃, 150℃, 170℃, 200℃에서의 전류값을 비교하면 0.13mA, 0.28mA, 0.39mA, 0.45mA, 0.48mA로 나타났다.

코로나 전류 발생에 대한 전류·전압 특성은 많은 변수에 의존하는데, 특히 중요한 것은 가스조성, 온도, 압력, 전극형태 등이다. 집진기내에서 가스는 절연체인데, 이온화를 통해서 전도하게 되고, 이온화에너지는 전계강도가 증가할수록 커진다. 그리고 열에너지도 이온화에 이용된다.

3.2 집진성능이 좋은 조건에서의 집진효율의 변화

3.2.1 전류밀도 변화에 따른 포집효율

집진기의 초기설치시, 집진판이 깨끗한 상태에서 전류밀도 변화에 따른 포집효율의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 전류밀도가 0.1mA/m², 0.2mA/m², 0.3mA/m², 0.4mA/m²로 증가할 때, 포집효율은 각각 98.7%, 99.0%, 99.3%, 99.9%로 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 전류밀도가 증가할수록 포집효율의 상승을 가져왔다.

3.2.2 인가전압과 (NH₄)₂SO₄의 농도에 따른 포집효율

Fig. 4는 집진성능이 좋은 조건에서, 인가전압과 (NH₄)₂SO₄의 주입농도를 변화시키면서 포집효율의 변화를 관찰한 것이다. 첨가제의 농도를 0ppm, 10ppm, 20ppm, 30ppm, 40ppm으로 증가시키면서 주입하였을 때, 포집효율의 상승은 인가전압 10kV에서 각각 98.3%, 98.5%, 98.3%, 98.3%, 98.4%, 인가전압 11kV에서 각각 98.6%, 98.7%, 99.1%, 99.3%, 99.4%, 인가전압 12kV에서 각각 98.8%, 99.1%, 99.4%, 99.4%, 99.4%로 나타났다.

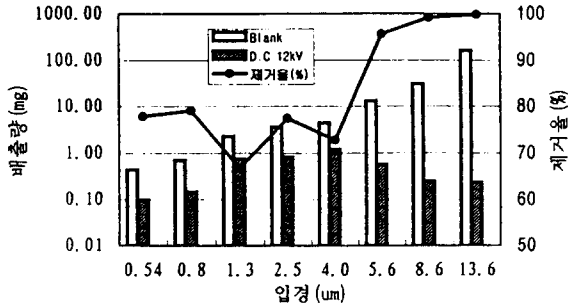
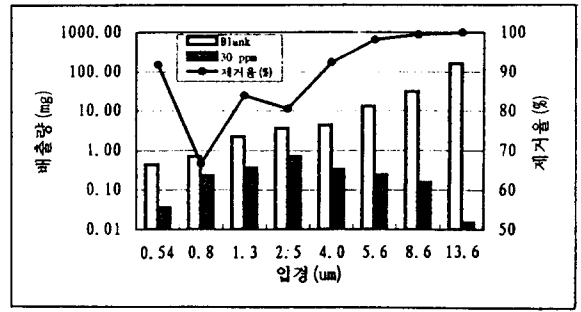
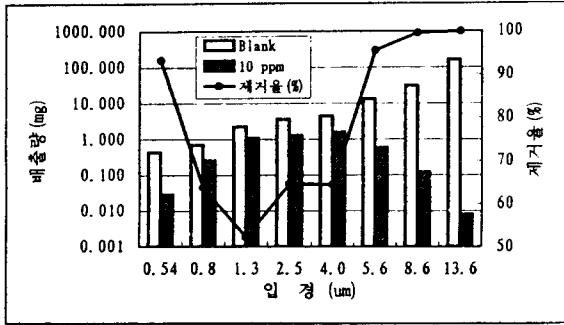


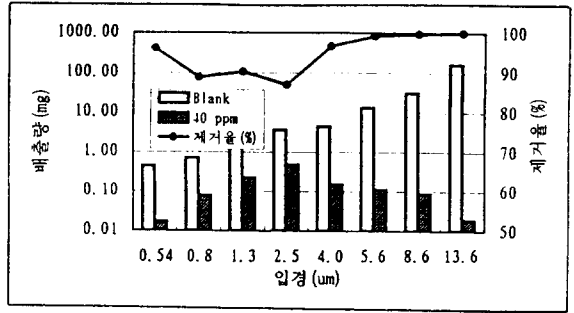
Fig. 6. Particle size vs. Emission rate and collection efficiency at 12kV applied voltage.



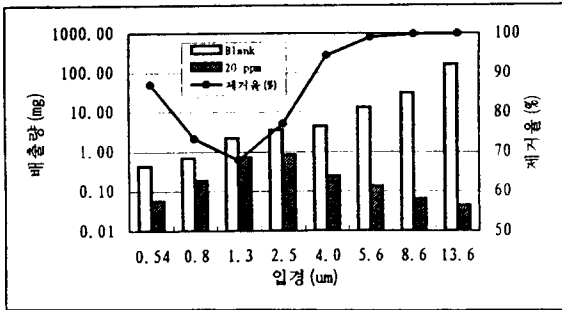
(c)



(a)



(d)



(b)

Fig. 7. Particle size vs. Emission rate and Collection efficiency at additive concentrations (a:10ppm, b:20ppm).

인가전압 12kV, $(NH_4)_2SO_4$ 주입농도 20ppm에서 99%이상의 집진효율을 얻었으나 전체적으로 불 때 집진성능이 좋은 조건에서, 인가전압에 의한 집진효율의 상승은 있었으나 $(NH_4)_2SO_4$ 주입농도에 의한 효율상승은 약간 증가하는 것으로 나타났다. 이 조건에서의 전류변화를 Fig. 5에 나타내었으며 $(NH_4)_2SO_4$ 주입농도가 10ppm, 20ppm, 30ppm, 40ppm으로 증가시 공간전하(space charge)로 인해서 인가전압 10kV에서의 전류값은 각각 0.1mA, 0.02mA, 0.02mA, 0.01mA, 인가전압 11kV에서의 전류값은 각각 0.14mA, 0.04mA, 0.03mA, 0.02mA, 인가전압 12kV에서의 전류값은 각각 0.18mA, 0.06mA, 0.04mA, 0.02mA로 나타났다.

Fig. 8. Particle size vs. Emission rate and Collection efficiency at additive concentrations (a:10ppm, b:20ppm).

3.3 현장조건에서 $(NH_4)_2SO_4$ 의 주입량에 따른 집진효율과 전류변화

전기집진에서 고저항입자의 유입시 $(NH_4)_2SO_4$ 투입에 따른 집진성능을 조사하기 위하여 집진효율 및 전류변화를 관찰하였다. 분진부하 $2g/m^3$ 에서 전기집진상태를 현장조건과 유사하게 하여 연속운전해서 집진판에 일정한 dust층을 형성시킨 후, 첨가제 주입농도를 0ppm, 10ppm, 20ppm, 30ppm, 40ppm으로 단계별로 변화시켜 집진기 출구에서 입경별로 배출되는 분진량과 제거율을 Fig. 6 ~ 8에 나타내었다. 첨가제를 주입하기 전에 집진기입구에서 Andersen stack sampler(No. 3371)을 사용하여 각각의 Stage에서 포집한 분진량은

- 0 stage($13.6\mu m$ 이상)에서 161.890mg, 1 stage($8.6 \sim 13.6\mu m$)에서 30.698mg,
- 2 stage($5.6 \sim 8.6\mu m$)에서 13.890mg, 3 stage($4 \sim 5.6\mu m$)에서 4.419mg,
- 4 stage($2.5 \sim 4.0\mu m$)에서 3.610mg, 5 stage($1.3 \sim 2.5\mu m$)에서 2.244mg,
- 6 stage($0.8 \sim 1.3\mu m$)에서 0.696mg, 7 stage($0.54 \sim 0.8\mu m$)에서 0.438mg로 나타났다.

$(NH_4)_2SO_4$ 주입농도에 따른 stage별 제거효율을 Fig. 9에 나타내었다.

$(NH_4)_2SO_4$ 를 주입하지 않아도 약 $5\mu m$ 이상의 입자들은 94% 이상의 포집효율을 나타내며, $(NH_4)_2SO_4$ 주입농도를 높여도 포집효율의 큰 변화를 보이지 않았으나,

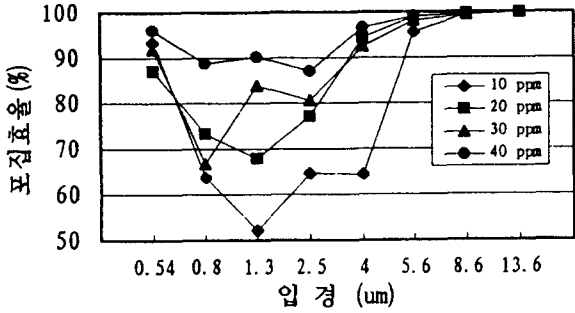


Fig. 9. Fractional collection efficiency vs. Particle diameter at 10-40ppm additive concentrations.

약 1 μ m 정도의 입자에 (NH₄)₂SO₄의 주입농도를 10ppm, 20ppm, 30ppm, 40ppm으로 농도를 증가시키며 따라 각각 71.47%, 76.06%, 80.77%, 91.70%의 포집효율을 나타내었다. 즉 (NH₄)₂SO₄의 주입농도가 증가함에 따라 1 μ m 정도의 미세입자제거에 상당한 효과가 있어 충분한 성능개선의 효과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 본 실험에서는 30ppm과 40ppm의 범위에서 (NH₄)₂SO₄의 적정주입농도를 구할 수 있음을 알 수 있었다. 집진기의 입구부하를 3g/m³으로 높이고, (NH₄)₂SO₄ 주입농도를 10ppm, 20ppm, 30ppm, 40ppm으로 증가시키면서, 전류와 포집효율의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 5, Fig. 6에서 설명한 바와 같이 (NH₄)₂SO₄의 주입농도가 증가 할수록 전류는 감소하고, 포집효율은 상승하였다.

(NH₄)₂SO₄의 주입농도를 0ppm, 10ppm, 20ppm, 30ppm, 40ppm으로 증가시키면서 주입하였을 때 전류 값은 0.1mA, 0.09mA, 0.04mA, 0.03mA, 0.03mA로 감소하였으며, 효율은 97.46%, 98.19%, 99.16%, 99.23%, 99.58%로 증가하였다.

4. 결 론

화학첨가제인(NH₄)₂SO₄를 주입하여 전기집진기의 성능향상 및 미세분진 제거효율에 대한 본 실험에서의 결과는 다음과 같다.

1) 현장과 유사한 연속운전시, 첨가제인(NH₄)₂SO₄의 주입농도의 변화(10ppm, 20ppm, 30ppm, 40ppm)에

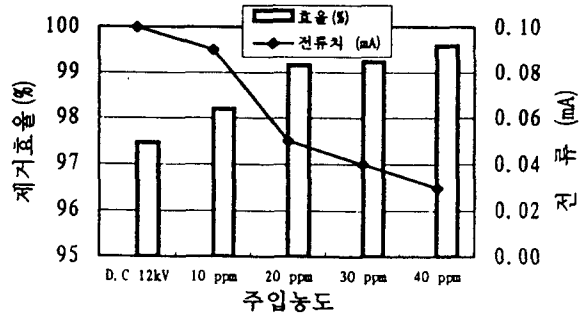


Fig. 10. Enhancement of collection efficiency vs. additive injection concentrations.

따라서, 분진부하 2g/m³에서는 집진율이 97.74%, 98.95%, 99.04%, 99.47%로 상승했고, 분진부하 3g/m³에서는 98.19%, 99.16%, 99.23%, 99.58%로 상승했다.

2) 첨가제인(NH₄)₂SO₄의 주입농도가 증가할수록 전기 집진기의 제거효율은 향상 되었으며, 집진기의 효율 향상에는 최소한 30ppm의 첨가제를 주입해야 한다.

참 고 문 헌

- 류재용 · 최금찬, 화학첨가제에 의한 Sinter dust의 전기집진 성능향상에 관한 연구, 1995, 동아대학교 석사학위논문
- 천중국, 최금찬, 정전 Bag-filter 방식을 이용한 고온가스의 집진에 관한 연구, 1994, 동아대학교 석사학위논문.
- Harry.J.White, *Chemical and physical particle conductivity factors in electrical precipitation*, Chemical Engineering Progress, June, 1956, Vol. 52, No. 6, pp. 244-148.
- Leslie.E.Spark, Shui-chow Yung, Ronald,G.Patterson, Benjamin. L. Hancock and Seymour Calvert, *Flue gas conditioning*, Feb. 1985, Research Triangle Park, NC. EPA-600/7-85/005.
- S.Yamamoto, *Improvement of Electrostatic Precipitator in Sinter Plant*, Kashima Steel works, 5th Korea-Japan Powder Technology Joint Seminar, 1993. pp. 146-149.